

УДК 629.5 : 621.436

**Б.Г. ТИМОШЕВСКИЙ, М.Р. ТКАЧ***Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, Украина*

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ДВС ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ТОПЛИВ

Стационарная и транспортная энергетика являются одними из крупных потребителей нефтяных топлив. Постоянный рост потребления и стоимости нефтяных топлив заставляет исследователей искать новые возможности снижения затрат на топливо. Одним из путей решения этой проблемы является использование более дешевых альтернативных топлив, в том числе и топлив широкого фракционного состава, получаемых из отходов термопластичных полимеров. Однако эффективность эксплуатации ДВС на этих топливах исследована недостаточно. В статье приведены результаты экспериментальных исследований некоторых показателей двигателя 6ЧН12/14 при его эксплуатации на топливе, полученном путем термического крекинга отходов смеси термопластичных полимеров. Установлены отличия рабочего процесса при эксплуатации на стандартном и альтернативных топливах. Показано, что альтернативное топливо может быть использовано в ДВС при условии соответствующей наладке топливной аппаратуры в пределах заводских регулировок.

**ДВС, альтернативное топливо, удельный расход топлива, индикаторная диаграмма, эффективность**

### Постановка проблемы

В современных условиях неуклонный рост цен на нефть и нефтяные топлива оказывают существенное влияние на стоимость выработки энергии. Мировое потребление нефти в 2006 г. достигло 87 млн. баррелей в день, а к 2015 г. достигнет 99 млн. баррелей и к 2030 г. – 116 млн. в день [1]. В этой ситуации экономическая эффективность объектов на базе ДВС существенно зависит от топливной составляющей эксплуатационных затрат.

Однако существуют пути снижения топливной составляющей эксплуатационных затрат, которые состоят в использовании альтернативных топлив (АТ). Одним из возможных альтернативных топлив представляются топлива широкого фракционного состава, получаемые из отходов термопластичных полимеров [2, 3].

Свойства этих топлив [4], хотя и отличаются от свойств стандартных нефтяных топлив, однако это отличие не столь существенно и есть все основания полагать, что такие альтернативные топлива могут быть использованы в ДВС без существенных конст-

руктивных доработок двигателей.

Стоимость таких топлив оказывается несколько ниже, чем стоимость стандартных топлив нефтяного происхождения. Согласно "Правил Регистра судоходства Украины" [6], введенных в действие на территории Украины 01.09.2001 г., уже допускается использование альтернативных топлив в качестве энергоносителей для судовых дизельных двигателей. Однако до настоящего времени в литературе не удалось обнаружить данных, которые позволили бы немедленно приступить к использованию этих топлив в СЭУ. Основным условием применения этих топлив является обеспечение экономичной, надежной и долговечной, экологически безопасной работы дизельных двигателей.

Для эффективного применения альтернативных топлив необходимо выполнить комплекс исследований, которые бы выяснили особенности рабочего процесса в ДВС, связанные с задержкой воспламенения и сгорания, характеристиками подвода тепла и жесткостью процесса, эксплуатационной надежностью двигателя в целом и экологической безопасностью.

Адаптация ДВС с целью использования альтернативных топлив является чрезвычайно актуальной задачей для транспортной и энергетической отраслей, поскольку мировое потребление энергоносителей нефтяного происхождения имеет устойчивую тенденцию роста.

### Решение проблемы

Экспериментальные исследования рабочего процесса двигателя 6ЧН12/14 ( $n = 25 \text{ с}^{-1}$ ) при его работе на альтернативном топливе, полученном путем термического крекинга отходов термопластичных полимеров, были выполнены на моторном стенде [5] в Центре перспективных энергетических технологий Национального университета кораблестроения.

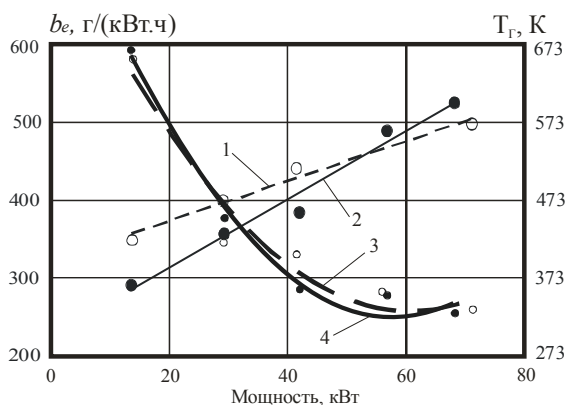


Рис. 1. Зависимость температуры выпускных газов (1 – ДТ, 2 – АТ) и удельного расхода топлива (3 – ДТ, 4 – АТ) от нагрузки двигателя при эксплуатации на топливе Л-02-40 и альтернативном топливе

На рис. 1 представлены сравнительные зависимости температуры выпускных газов и удельного расхода топлива от нагрузки двигателя при эксплуатации на топливе Л-02-40 и альтернативном топливе. Температура выпускных газов ДВС при работе на альтернативном топливе и нагрузках менее 50% оказывается значительно меньше, чем в случае использования дизельного топлива. Так, при нагрузке 20%  $\Delta T = -60 \text{ K}$ , а при нагрузке 40%  $\Delta T = -30 \text{ K}$ . При нагрузках более 50% температура выпускных газов при работе на альтернативном топливе оказывается больше, чем при использовании дизельного топлива. Так, при нагрузке 70%  $\Delta T = +20 \text{ K}$ .

Из рисунка также видно, что во всем диапазоне нагрузок значения удельного расхода стандартного и альтернативного топлив достаточно близки. При нагрузках, близких к номинальной, понижению удельного расхода альтернативного топлива по сравнению с дизельным составляет 4...6 г/(кВт·ч), а на малых долевых нагрузках – 10...12 г/(кВт·ч). Это объясняется несколько более высокой массовой теплотворной способностью альтернативного топлива и, соответственно, большей энергоемкостью цикловой подачи.

На рис. 2 представлены сравнительные зависимости угла задержки воспламенения и коэффициента избытка воздуха от нагрузки при работе двигателя 6ЧН12/14 на дизельном и альтернативном топливе.

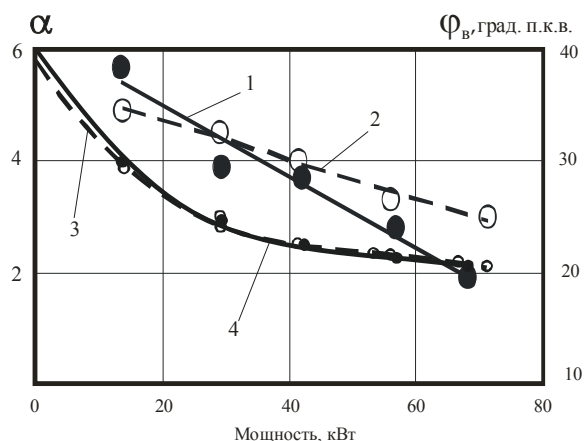


Рис. 2. Зависимости угла задержки воспламенения (1 – ДТ, 2 – АТ) и коэффициента избытка воздуха (3 – ДТ, 4 – АТ) от нагрузки при работе двигателя 6ЧН12/14

Анализ этих результатов показывает, что в сравнении с дизельным топливом, период задержки воспламенения альтернативного топлива уменьшается с увеличением нагрузки, что непосредственно связано с эффективным давлением газов в цилиндрах. Так при нагрузке 20% задержка воспламенения составляет 12,7 град. п.к.в. и превышает аналогичный показатель для стандартного дизельного топлива на 3,8 град. п.к.в. Это явление объясняется тем, что присутствие в альтернативном топливе легкокипящих фракций приводит к снижению температуры топливовоздушной смеси в цилиндре двигателя

вследствие его охлаждения из-за испарения этих фракций. Кроме того, наличие легкокипящих фракций приводит к некоторому снижению скорости сгорания топлива, что также отрицательно влияет на рабочий процесс ДВС.

С увеличением нагрузки период задержки воспламенения альтернативного топлива уменьшается и при номинальных значениях среднего эффективного давления эти показатели составляют соответственно 6,8 и 1,0 град. п.к.в. Из приведенных данных можно сделать заключение, что задержка воспламенения АТ оказывает существенное влияние только при малых и средних нагрузках судового ДВС.

Величина коэффициента избытка воздуха при работе ДВС на альтернативном и дизельном топливах практически одинакова. Так, если при работе вблизи номинальной нагрузки ДВС значение  $\alpha$  составляет 2,1...2,2, то на режиме холостого хода коэффициент избытка воздуха увеличивается до 5,8...6,1.

На рис.3 приведены экологические показатели ДВС при работе на альтернативном и дизельном топливах.

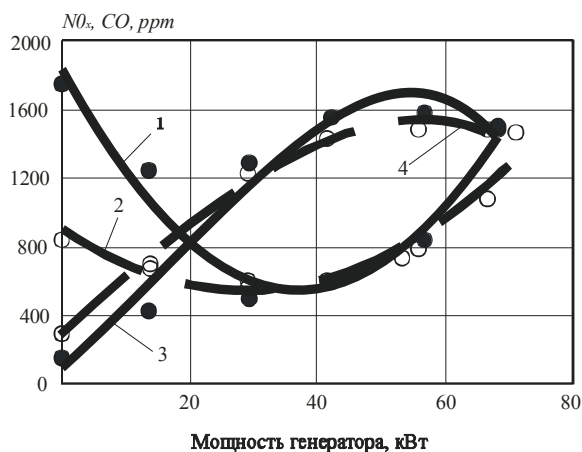


Рис. 3. Содержание CO (1 – ДТ, 2 – АТ) и NOx (3 – ДТ, 4 – АТ) в отходящих газах от нагрузки при работе двигателя 6ЧН12/14

Исследование установило практически тождественные значения содержания монооксида углерода и оксидов азота на режимах нагружения, близких к

номинальной мощности. Снижение мощности ДВС, вплоть до холостого хода, приводит к снижению содержания NOx на 50% и существенному повышению концентрации CO – более чем в 2 раза. Это свидетельствует об удовлетворительной организации рабочего процесса при номинальной нагрузке ДВС и необходимости его корректировки на режимах малой мощности.

В процессе испытаний получены также косвенные свидетельства удовлетворительного протекания рабочего процесса ДВС на альтернативном топливе. Продолжительность запуска ДВС, ток нагрузки двигателя (генератора), длительность выхода на номинальный режим в сопоставимых условиях окружающей среды на АТ и ДТ практически неизменны. Об этом же свидетельствует отсутствие продуктов коксования топлива в отверстиях распылителей топливных форсунок. Комплекс проведенных исследований показал, что применение альтернативного топлива возможно в среднеоборотных и малооборотных ДВС, т.к. снижение частоты вращения коленчатого вала приводит, как известно, к снижению т.н. "оптимального" цетанового числа топлива. Так, при снижении частоты вращения от  $25\text{c}^{-1}$  до  $8,3\text{c}^{-1}$  данный показатель топлива рекомендовано снизить с 40 до 30. При частотах вращения  $1,0..2,0\text{c}^{-1}$  значение цетанового числа топлива, обеспечивающего эффективную работу ДВС, составляет 20..22.

С целью выявления влияния на окружающую среду технологического процесса получения альтернативного топлива и его сжигания в ДВС, были проведены санитарно-гигиенические исследования воздуха рабочей зоны в испытательном боксе. Результаты этих исследований представлены на рис. 4. Анализ этих данных и сравнение их с предельно-допустимыми концентрациями (ПДК) показал, что концентрация вредных веществ составляет: формальдегида –  $0,1306\text{ мг/м}^3$  (26% ПДК); диметилтерефталата –  $<0,05\text{ мг/м}^3$  (<50% ПДК); акрилонитрила –  $0,3598\text{ мг/м}^3$  (3,6% ПДК); ацетальдегида –

<0,05 мг/м<sup>3</sup> (<12,5% ПДК); стирола – 1,32 мг/м<sup>3</sup> (26,4% ПДК); оксида углерода – 2,26 мг/м<sup>3</sup> (7,5% ПДК); углеводородов алифатических предельных C<sub>1</sub>–C<sub>10</sub> – 30,8 мг/м<sup>3</sup> (10,2% ПДК); толуола – <2 мг/м<sup>3</sup> (<1,3% ПДК); ксилола – <0,4 мг/м<sup>3</sup> (<0,8% ПДК); бензола – <0,4 мг/м<sup>3</sup> (<2,7% ПДК).

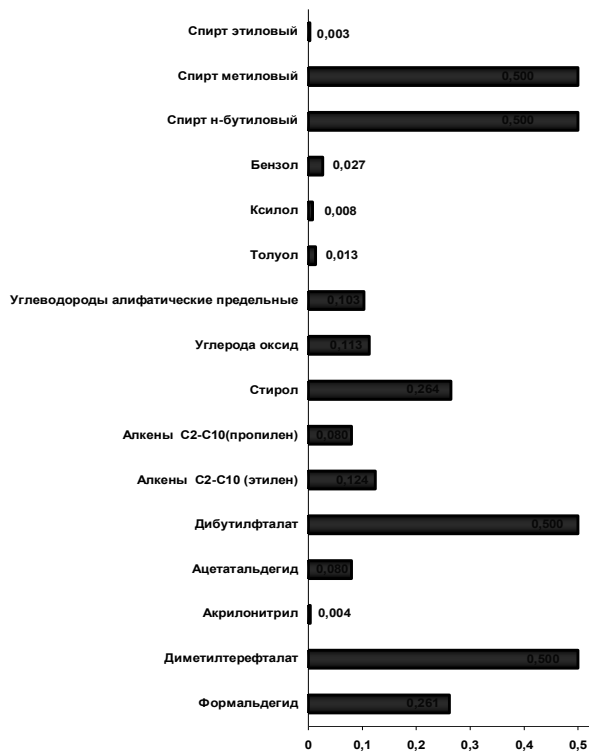


Рис. 4. Концентрации вредных веществ в рабочей зоне экспериментальной установки

Приведенные результаты дают основание считать, что концентрация вредных веществ в рабочей зоне экспериментального стенда по всем измеренным показателям, согласно ГОСТ 12.1.005-88 "Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны", не превышает допустимых значений. Максимальная концентрация вредных веществ не превышает 50% ПДК (диметилтерефталат), а концентрации стирола и формальдегида не превышают 30% ПДК, концентрации остальных веществ находится в области < 5% ПДК.

## Выводы

1. Результаты экспериментальных исследований ДВС 6ЧН12/14 показали практическую возможность

и целесообразность применения альтернативного топлива, полученного путем термического крекинга отходов термопластичных полимеров.

2. Установлено, что основные характеристики рабочего процесса при работе ДВС на альтернативном и дизельном топливах отличаются в диапазоне, допускающим эффективную работу двигателя при соответствующей регулировке топливной аппаратуры.

3. Экологические показатели энергетического оборудования допускают возможность его эксплуатации в условиях промышленных объектов.

## Литература

1. World Energy Outlook 2006. The International Energy Agency (IEA), 2007.
2. Тимошевский Б.Г., Ткач М.Р. Альтернативные топлива для тепловых двигателей // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. – Х.: НАУ «ХАІ», 2001. – Вып. 26. – С. 32-37.
3. Тимошевский Б.Г., Ткач М.Р. Эффективность энергетических установок специализированных судов и технологических платформ на базе ДВС // *Вестник двигателестроения*. – Запорожье. – 2003. – № 3. – С. 51-55.
4. Ткач М.Р., Тимошевский Б.Г., Тхы Б.А. Математическое моделирование рабочих процессов в ДВС при работе на альтернативных топливах // *Наукові праці: Науково-методичний журнал*. Т.43 (вип. 30). Техногенна безпека. – Миколаїв: МДГУ ім. П. Могили, 2005. – С. 42-48.
5. Ткач М.Р., Тимошевский Б.Г., Тхы Б.А. Экспериментальные исследования показателей судового ДВС, использующего альтернативное топливо // *Двигуни внутрішнього згорання*. – 2006. – № 2.
6. Регістр судноплавства України. Правила побудови та класифікації морських суден. Т.3. – К., 2003. – 244 с.

*Поступила в редакцию 29.05.2007*

**Рецензент:** канд. техн. наук, проф. Ю.Л. Мошенцев, Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, Николаев.